

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 03-015911  
 (43)Date of publication of application : 24.01.1991

---

(51)Int.CI. G05D 3/12

---

(21)Application number : 01-150481 (71)Applicant : FANUC LTD  
 (22)Date of filing : 15.06.1989 (72)Inventor : IWASHITA HEISUKE

---

(30)Priority  
 Priority number : 64 65921 Priority date : 20.03.1989 Priority country : JP

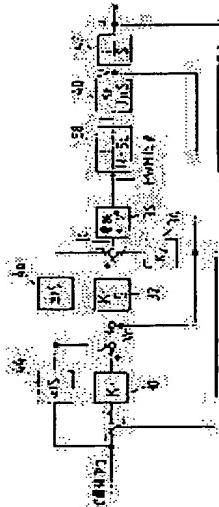
---

## (54) FEED FORWARDING CONTROL SYSTEM FOR SERVO MOTOR

## (57)Abstract:

PURPOSE: To improve the responsibility of a speed loop, to reduce the waviness of a position deviation, to improve the response delay of a servo system and to reduce a shape error by executing the feed forwarding control of a position and that of a speed.

CONSTITUTION: A feed forwarding item 46 is added. Namely, the feed forwarding item 46 of the speed differentiates the feed forwarding control variable of the position, sets a value obtained by multiplying a speed feed forwarding coefficient  $\alpha_2$  to be the feed forwarding control variable of the speed and makes it to be a current command by adding the feed forward controlled variable of the speed to the controlled variable obtained in speed loop control. Thus, the responsibility of the speed loop can be improved by executing speed feed forwarding control for the speed loop, and the responsibility of the whole servo system can be improved and the waviness of the position deviation can be reduced.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**





9 して通常の速度指令を求める。そして、この通常の速度指  
1 令に常に位置のフィードフォワード制御量を加算し、位置の  
2 フィードフォワード制御が行われた位置指令 $y$ を求める。

一方、第13回（a）、（b）は位置ループのファード・フォワードにより直角加減速時間定数を持たせた第2の実施例の方式、（第2回）において、移動指令を第12回の場合と同様の量だけステップ的に変化させたときの速度指令の変化を実験で検出したもので、第13回（a）は加速時、第13回（b）は減速時の速度指令の変化を示している。この第13回（a）、（b）の実験データから、第12回（a）、（b）の結果方式と比較し、速度指令の急激な変化がなくなつたことが分かる。

また、第14回、第15回はサーボモータを定位回転させたときの従来方式（第6回）と本実施例の方式（第2回）による速度指令の変化を実験的に求めたもので、第15回は直角加減速時間定数をファード・フォワード方式に加えて加減速時間定数をファード・フォワード方式（第6回）による速度指令の変化を実験的方式（第6回）によるもので、第15回は直角加減速時間定数をファード・フォワード方式に加えて加減速時間定数をファード・フォワード方式（第6回）によるものである。数値制御装置から的位置指令のむら（ハルスアーミング）がそのまま速度指令にも変化しているが、ファード・フォワード方式では、上記位置指令のむらが加減速時間定数により滑らかになつて制御されていることが分かる。

第3回は本説明の第3の実験例の要部プロック線図

る。また、速度ループも同様で、速度指令の変化に応じて、通常の速度ループ処理による電圧指令も変化する。しかし、この場合に分母があるため遅れが生じる。そこで、この場合の速度ループ処理による速度のフィードフォワード制御量によって速度のフィードフォワード制御量が加算され電圧指令となるから、速度ループの遅れも減らされ電圧指令との応答性は向上する。その結果、位置指令 a に対するサーボモータの追従性が良くなり、位置偏差のうねりは低減されることがあることとなる。

第2図は本研究の第2の実験例で、第6図と対応する

で、この実験例は上記第1、第2の実験例を同時に実行するものであり、第1図に示す第1の実験例のブロック線図において、位置のフィードフォワード制御に加減速制御器48を入れたものである。

この実験例においては、第1図で示す第1の実験例において、位置指令 a の微分によって急激な変化（ノイズ）が発生し、前述したように、位置指令 a に第9回に示すよううねりが生じるような場合、上記急激な変化を軽減させ、かつ、速度ループの遅れを速度フィードフォワード制御によって補償し、位置偏差のうねりを絶滅させるものである。

この第3の実施例において、位置指令aに第9図の実験結果を得た場合と同じ条件のランプ入力をした場合、位置偏差eの変化は第10図に示すように変化し、うねりが低減していることが分かる。

このように、位置のフィードフォード制御間に加速度制御を加え、速度ループにフィードフォード制御を行なうことによって、サーボ系の応答性を改善し、系の安定性を保つことによってノイズに対する耐性を低減させ、これによつて加工時間の形状誤差を小さくできる。

第4図は本発明の第4の実施例のプロック線図の要部であり、第3図に示す第3の実施例と相違する点は速度制御を加え、速度ループに加速度制御(50)を加えた点であり、これにより、位置のフィードフォード制御電力を微小にしてノイズ状に大きく変化する際の速度指標を防ぐのである。

第5図は本発明の第5の実施例のプロック線図の要部であり、第3図に示す第3の実施例と相違する点は速度制御を加え、速度ループに加速度制御(50)を加えた点であり、これにより、位置のフィードフォード制御電力を微小にしてノイズ状に大きく変化する際の速度指標を防ぐのである。

第12図(a)、(b)は位置ループのフィードフォード項に直角加速度測定数を持たせない従来の方式(第6図)において、移動指令aをステップ状に変化させたときの速度指令の変化を実験によって検出したもので、第12図(a)は加速時、第12図(b)は減速時の速度指令の変化を示しており、速度指令が急激に変化していることがこの実験データより分かる。

11) であり、第4図に示す第4の実験例と相違する点は、電流ループにも電流のフィードフォワード制御(S2)を行つたもので、加速度遅延させた距離フィードフォワード制御を微分して電流ループで計算し、この値で目標指令を作るようにしたのである。また、この電流フィードフォワード制御においても、加速度制御を入れて急激な変化をおさえてもよい。

第7図は、本実験の各実験例を実施するデジタルサーボ制御装置のブロック図であり、構成は従来のデジタルサーボ制御を行なう装置と同一構成があるので、概略的に示す。サーボ制御

がTP周期中等等に分配されるように位置ループ処理TP  
 $b_1 = -\frac{1}{Tp} (a_1 -$   
 なお、従来のサーボモータのフィードフォワード制御  
 における位置のフィードフォワード制御では、上記(b)の  
 値に位置のフィードフォワード係数  $a_1$  を乘じてフィー  
 ドフォワード制御値としていた。  
 一方、本実施例においては、上記(a)に対しても加

なね、 $a_1$ は位置のフィードフォワード係数である。  
 上記第(9)式に第(8)式を代入すると、次の第  
 $Cn = \frac{a_1}{m \cdot T_p} (a_1 - a_{n-1} + a_m)$

$$= \frac{a_1}{m \cdot T_p} (a_1 - a_{l-n})$$

そこで、位置ループ処理周期毎上記第(10)式の演算を行つてフィードフォワード制御量を求め、通常の位  
 置ループ処理の出力割合を加算して速度指令を求めれば、  
 フィードフォワードの微分操作に伴うフィードフォワー  
 制制御の急激な変化を防ぐことができる。

第8図は、第3図に示す第3の実験例を実施するデジ  
 タルサーボ回路140CPUの処理のフローチャートで、該C

特許 27612

における位置指令値を求める、この位置指令値と  
データ20からのフィードバックバ尔斯によって得  
たモータ180の現在位置との差より位置ループ一  
とと共に、後述する位置のフィードフォワー  
を行って速度指令を求める、次に、該速度指令  
データ20からフィードバックバ尔斯によって得  
たモータ180の実速度より速度ループ処理、さ  
らに、このフィードフォワード処理を行い、電流指令  
として、電流P-A処理指令とともに電流フイ  
ードアライヤーへ処理指示をさせ、サーボア  
クチュエーター9を駆動させる。

上記サーボモータのうち、通常ループ制御処理、速度ループ制御処理、電流ループ制御処理は從来ど同様な方法で行うものであるが、示す第3の実施例の処理について以下説明する。  
まず、位置のフィードフォワード制御について述べる。  
位置、速度ループ処理の周期をTPとし、各ループ処理における位置指令を $\alpha_n$  ( $n=1, 2, \dots, N$ ) とする。位置指針を $\beta_n$  とすると、実際には差分として次の第(8)式の値が算出される。

減速時定数 $\tau$ 、P（mは正整数）で直線加減速を求める。即ち  
 フィードフォード制御位置 $C_m$ は次の第（9）式の演算  
 求められる。

$$C_m = a_{n-1} + \dots + b_{n-m+1}$$

(10) のようになる。

(9)

$-1 - a_{1-2} + \dots + a_{1-n+1} - a_{1-n}$

(10) のように、 $n$  回目の位置ループ処理周際の処理を行っており、  
まず、当該位置ループ処理における位置指  
込み、単位系の変換処理を行い (ステップ S1)  
レジスタ R ( $m$ ) に記憶されている該周際  
の位置指令  $a_{1-n}$  を読み込む (ステップ S2)。

次に、読み込んだ位置指令 $a_n$ 、 $a_{n-1}$ によって第(10)式の演算を行って位置のフィードフォワード制御量 $C_n$ を求める(ステップS3)。

なお、位置のフィードフォワード系係数 $\alpha_1$ 、加速度定数 $m$ は既定値として設定されているものとする。次に、レジスタR(m)～R(1)の値をシフトする(ステップS4)。即ち、レジスタR(m-1)に記憶されていた当該周期よりm-1回前の移動指令 $a_{n-1}$ をレジスタR(m)に格納し、レジスタR(m-1)に、レジスタR(m-2)に記憶されていた当該周期よりm-2回前の移動指令 $a_{n-2}$ を格納する。以下、順次各レジスタの値をシフトさせ、レジスタR(1)に当該周期で読み込んだ移動指令 $a_n$ を格納して(ステップS4～m)、位置のフィードフォワード制御処理は終了する。

次に、デジタルサーボ回路14のCPUの通常の位置ループ処理を行い、速度指令 $V_c$ を求める。すなわち、位置指令 $a_n$ からサーボモータの現在位置 $P_n$ を減じて位置偏差 $e$ を求め、これに位置ループゲイン $K_I$ を乗じて速度指令 $V_c$ を求める(ステップS5)。そして、該速度指令 $V_c$ とステップS3で求めた位置のフィードフォワード制御量 $C_n$ を加算し、フィードフォワード制御量 $C_n$ を求める(ステップS6)。

次に、速度制御印字 $P$ 、または、ステップS3で求めた位置のフィードフォワード制御量 $C_n$ からレジスタRに記憶する前周期の位置のフィードフォワード制御量 $C_{n-1}$ を減じ、得られた値に( $\alpha_2/T_P$ )を乗じ、位置のフィードフォワード制御量 $C_n$ を微分し、かつ、微分値に速度のフィードフォワード系係数 $\alpha_2$ を乗じた速度のフィードフォワード制御量 $C_n$ を求める(ステップS7)、レジスタRに今周期の位置のフィードフォワード制御量 $C_n$ を格納する(ステップS8)。次に、ステップS6で求めた速度指令 $V_c$ に對し、通常の速度ループ処理を行い、電流指令 $I_c$ を求める(ステップS9)として出力する点が相違するのみである。

さらに、第4図に示す第4の実施例の場合は、ステップS8の代りに、位置のフィードフォワード制御を行ったステップS3～S4～mと同等な処理を行う。即ち、通常のフィードフォワード制御における系数を位置 $P_n$ 、速度 $V_c$ 、位置 $P_n$ における減速時間 $T_P$ のd倍( $d$ は正整数)の $d$ ・ $T_P$ とする。各速度ループ処理毎の速度のフィードフォワード制御量 $D_n$ は次の第(11)式のようになる。

$$D_n = \frac{\alpha_2}{d \cdot T_P} (C_n - C_{n-d}) \dots \dots (11)$$

なお、 $\alpha_2$ は速度のフィードフォワード系係数、 $C_n$ は速度ループ処理周期のn回目における位置フィードフォワード制御量である。

また、第5図に示す第5の実施例は電流ループでも電流フィードフォワードを設けたものであるが、前述のように加速度制御された速度のフィードフォワード制御量を求めたものを微分し、その値を通常の電流ループ処理に加算するもので、この処理は前述した処理とほぼ同一であるので省略する。

#### 発明の効果

以上述べたように、位置のフィードフォワード制御を行ふと共に速度のフィードフォワード制御も行ふので、速度ループの応答性も向上し、位置偏差のうねりが

示すようないつも位置のフィードフォワード制御であれば、速度指令 $V_c$ からモータの実速度 $V$ を減じて速度偏差を求め、この速度偏差をアキュムレータに加算し、加算した値に部分ゲイン $\beta$ を乗じ、積分器(32)の出力を求め、この出力からモータの実速度 $V$ に比例ゲイン $\gamma$ を乗じた(34)値を減じて、通常の速度ループ処理による電流指令 $I_c$ を求める(ステップS9)。

そして、該電流指令 $I_c$ にステップS7で求めた速度指令 $V_c$ を加算し、速度フィードフォワード制御された電流指令 $I_c$ を求め、これを電流レーパーへ出力する(ステップS10, S11)。この電流指令 $I_c$ にに基き通常の電流ループ処理を行い、次にPWM制御を行ってサーボモータ18を駆動する。

以上が、第3図に示す第3の実施例のデジタルサーボ回路14のCPUの処理であるが、第1図に示す第1の実施例の場合には、ステップS2をレジスタR(1)から $a_{n-1}$ の値を読み取る処理にかえ、ステップS3の処理を第(8)式に示す処理に変え、ステップS4～1～S4～mの処理の内ステップS4～mの処理のみ行うようにし、位置のフィードフォワード制御量 $C_n$ を $b_m$ の値とする点が相違するのみである。

また、第2図に示す第2の実施例の場合には、ステップS3, S8, S10の処理がなく、ステップS9で求めた電流指令 $I_c$ を電流指令 $I_c$ として出力する点が相違するのみである。

さらに、第4図に示す第4の実施例の場合は、ステップS8の代りに、位置のフィードフォワード制御を行ったステップS3～S4～mと同等な処理を行う。即ち、通常のフィードフォワード制御における系数を位置 $P_n$ 、速度 $V_c$ 、位置 $P_n$ における減速時間 $T_P$ のd倍( $d$ は正整数)の $d$ ・ $T_P$ とする。各速度ループ処理毎の速度のフィードフォワード制御量 $D_n$ は次の第(11)式のようになる。

つまり、位置のフィードフォワード制御される機械が工作機械であれば、サーボ系の駆動される機械が工作機械である場合、位置のフィードフォワード制御に加減速制御を加えることにより、位置指令を微分して生じるノイズ状の急激な変化を抑えるので、サーボモータや機械の動きに大きなショックを発生させなくなる。

特に、位置のフィードフォワード制御を行うことによ

り、位置指令の急激な変化を防止し、かつ、速度ループの過渡を改善することによって安定したサーボ系を得ることができ、サーボモータや機械の動きにショックを発生せず、かつ、形状誤差を小さくするこ

とができる。

また、速度のフィードフォワード制御に対する速さ等を評価することができる。

また、位置のフィードフォワード制御を微分して生じるノイズ状の急激な変化を抑えるので、サーボモータや機械の動きに大きなショックを発生させなくなる。

特に、位置のフィードフォワード制御を行うことによ

り、位置指令の急激な変化を防止し、かつ、速度ループの過渡を改善することによって安定した

【面図の簡便な説明】

【第11図】

【第12図(a)】

【第12図(b)】

【第13図(a)】

【第13図(b)】

【第14図】

【第15図】

【第16図】

【第17図】

【第18図】

【第19図】

【第20図】

【第21図】

【第22図】

【第23図】

【第24図】

【第25図】

【第26図】

【第27図】

【第28図】

【第29図】

【第30図】

【第31図】

【第32図】

【第33図】

【第34図】

【第35図】

【第36図】

【第37図】

【第38図】

【第39図】

【第40図】

【第41図】

【第42図】

【第43図】

【第44図】

【第45図】

【第46図】

【第47図】

【第48図】

【第49図】

【第50図】

【第51図】

【第52図】

【第53図】

【第54図】

【第55図】

【第56図】

【第57図】

【第58図】

【第59図】

【第60図】

【第61図】

【第62図】

【第63図】

【第64図】

【第65図】

【第66図】

【第67図】

【第68図】

【第69図】

【第70図】

【第71図】

【第72図】

【第73図】

【第74図】

【第75図】

【第76図】

【第77図】

【第78図】

【第79図】

【第80図】

【第81図】

【第82図】

【第83図】

【第84図】

【第85図】

【第86図】

【第87図】

【第88図】

【第89図】

【第90図】

【第91図】

【第92図】

【第93図】

【第94図】

【第95図】

【第96図】

【第97図】

【第98図】

【第99図】

【第100図】

【第101図】

【第102図】

【第103図】

【第104図】

【第105図】

【第106図】

【第107図】

【第108図】

【第109図】

【第110図】

【第111図】

【第112図】

【第113図】

【第114図】

【第115図】

【第116図】

【第117図】

【第118図】

【第119図】

【第120図】

【第121図】

【第122図】

【第123図】

【第124図】

【第125図】

【第126図】

【第127図】

【第128図】

【第129図】

【第130図】

【第131図】

【第132図】

【第133図】

【第134図】

【第135図】

【第136図】

【第137図】

【第138図】

【第139図】

【第140図】

【第141図】

【第142図】

【第143図】

【第144図】

【第145図】

【第146図】

【第147図】

【第148図】

【第149図】

【第150図】

【第151図】

【第152図】

【第153図】

【第154図】

【第155図】

【第156図】

【第157図】

【第158図】

【第159図】

【第160図】

【第161図】

【第162図】

【第163図】

【第164図】

【第165図】

【第166図】

【第167図】

【第168図】

【第169図】

【第170図】

【第171図】

【第172図】

【第173図】

【第174図】

【第175図】

【第176図】

【第177図】

【第178図】

【第179図】

【第180図】

【第181図】

【第182図】

【第183図】

【第184図】

【第185図】

【第186図】

【第187図】

【第188図】

【第189図】

【第190図】

【第191図】

【第192図】

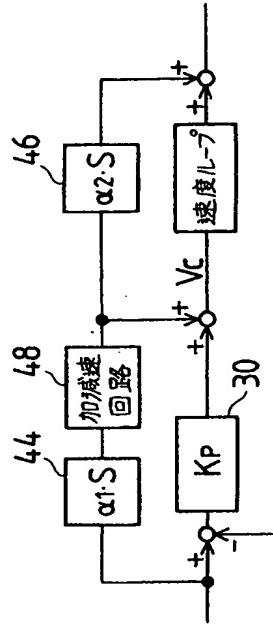
【第193図】

【第194図】

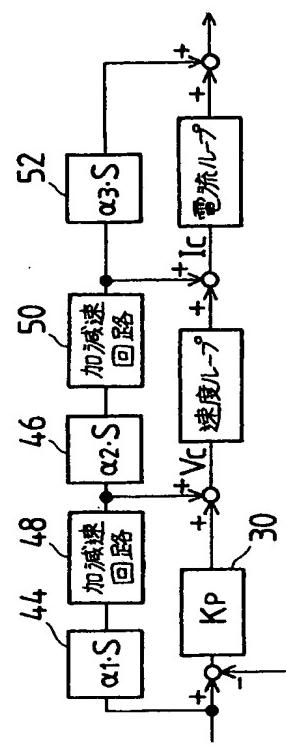
【第195図】

【第196図】

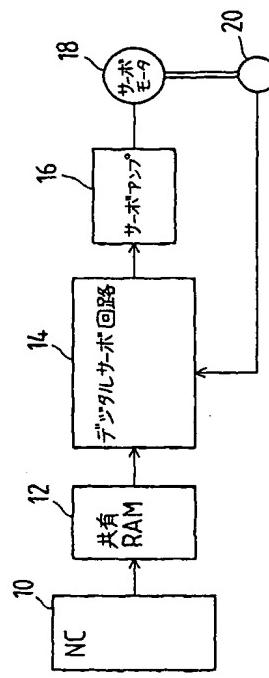
[第3回]



[卷五]

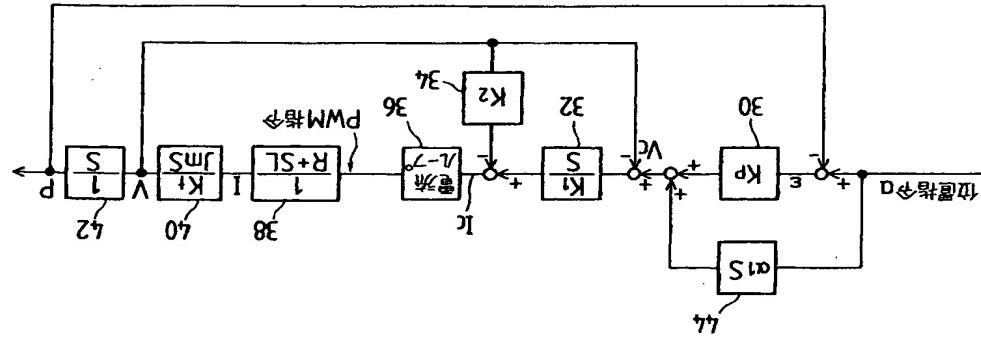


[第7回]



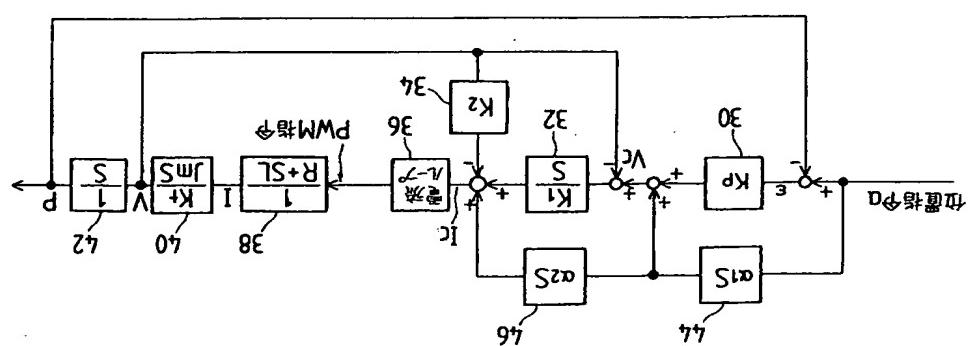
特許2762364

[第6回]

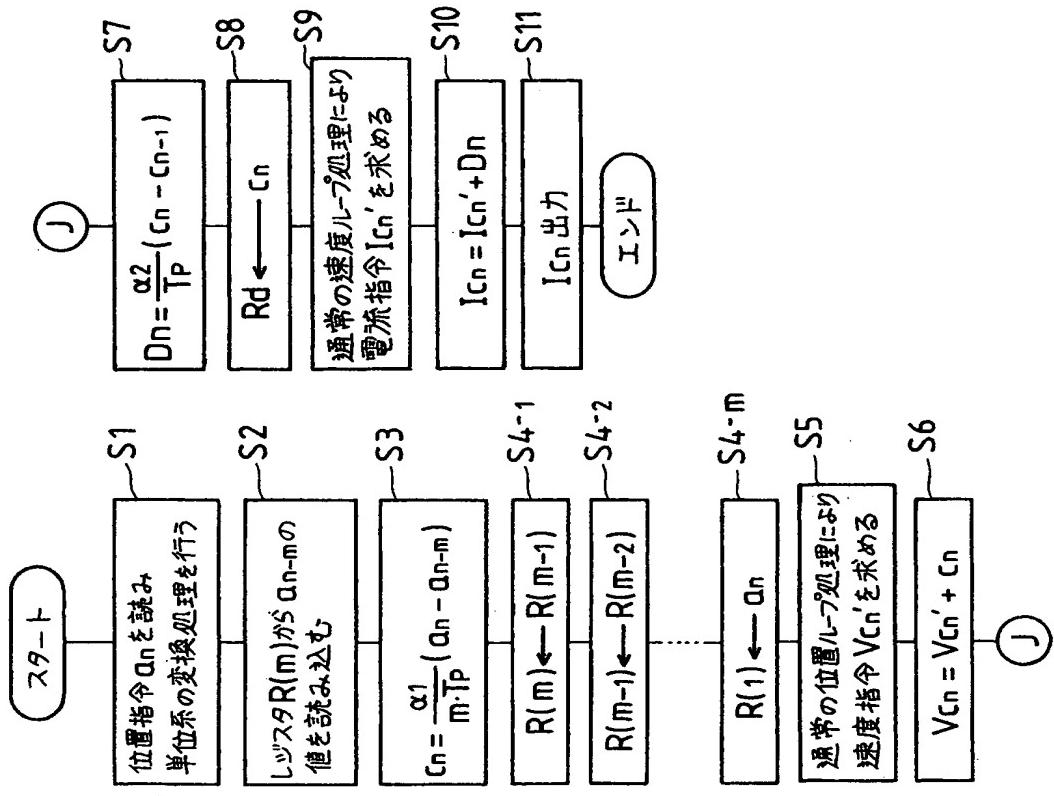


(6)

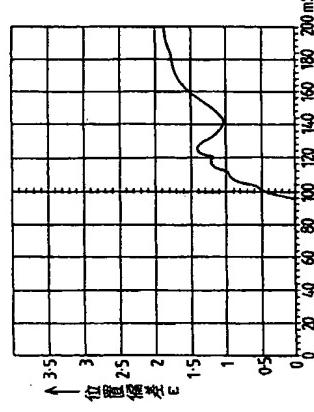
[第1回]



〔第8図〕

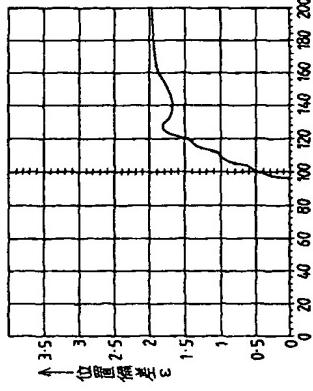


〔第9図〕



〔第10図〕

〔第10図〕

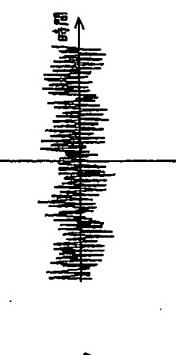
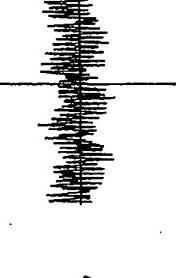


〔第12図(a)〕

〔第12図(b)〕

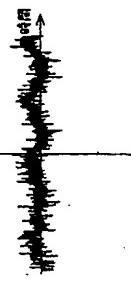
〔第13図(a)〕

〔第13図(b)〕



〔第14図〕

〔第15図〕



## フロントページの続き

(56)参考文献 特開 昭61-122102 (J P, A)  
特開 昭62-77603 (J P, A) (58)調査した分野(Int. Cl. 6, D B名)  
特開 昭63-38941 (J P, A) G05D 3/12  
特開 昭62-24302 (J P, A) G05D 3/12 305  
特開 平2-191908 (J P, A) G05D 3/12 306  
特開 平1-222302 (J P, A)

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**